



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AMBIENTAL

**“Evaluación técnico-económica del uso de biopolímeros para el
tratamiento de aguas residuales de curtiembres”**

Tesis para optar el título profesional de:
INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Nickole Allyson del Carmen Basurto Flores (0000-0003-4502-
3823)

Nataly Vanessa Medina Guerrero (0000-0001-9586-7851)

Asesor:

Betty Soledad Peña Orocaja (0000-0002-2766-
5542)

Lima – Perú

2023

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 07 de septiembre del 2023

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado León
Miembro: Mg. Ing. Jimmy Segundo Castillo Becerra
Miembro: Mg. Ing. Marisol Nuñez Martinez

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

“EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL USO DE BIOPOLÍMEROS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES”

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Nickole Allyson del Carmen Basurto Flores**
- **Nataly Vanessa Medina Guerrero**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Ing. Betty Soledad Peña Orocaja

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple (X) calificar a:

Tesista: Nickole Allyson del Carmen Basurto Flores & Nataly Vanessa Medina Guerrero		Nota (en letras): 16 (DIECISÉIS)	
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado-Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado León
Presidente



Mg. Ing. Jimmy Segundo Castillo Becerra
Miembro 1



MARISOL NUÑEZ MARTINEZ
DNI N° 42808608

Mg. Ing. Marisol Nuñez Martinez
Miembro 2



Ing. Betty Soledad Peña Orocaja
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN¹

Lima, 04 de noviembre del 2023

Señor,
Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Nickole Allyson del Carmen Basurto Flores y Nataly Vanessa Medina Guerrero, egresadas de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con la asesora de tesis Betty Soledad Peña Orocaja declaramos que este informe final de tesis titulado: Evaluación técnico-económica del uso de biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres, sustentado para obtener el título/grado de Ingeniero Ambiental es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de nuestra investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos ², que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista Nickole
Basurto Flores
DNI: 72419184



Firma del asesor de tesis Betty
Peña Orocaja
DNI: 09790184



Firma tesista Nataly
Medina Guerrero
DNI: 72372962

¹ En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD

² Los documentos están en: <https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/>

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Evaluación técnico-económica del uso de biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres

Autores. Nickole Allyson del Carmen Basurto Flores; Nataly Vanessa Medina Guerrero.

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2237246146).

Resultado de la evaluación. 7%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Evaluación técnico-económica del uso de biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres

Technical-economic evaluation of the use of biopolymers for the treatment of tannery wastewater

Nickole Basurto-Flores¹, Nataly Medina-Guerrero²

RESUMEN

[Introducción]: Durante años, las aguas residuales de curtiembres han sido vertidas a diversas fuentes de agua sin control alguno o tratadas con tecnologías poco eficientes, generando un impacto negativo en la calidad del agua. **[Objetivo]:** El objetivo del estudio fue evaluar la viabilidad técnico-económica del uso del biopolímero pectina y quitosano para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres. **[Metodología]:** Se efectuó la extracción de pectina a partir de la cocona (*Solanum sessiliflorum*) y el quitosano a partir del camarón (*Caridea*). Se realizó una prueba de jarras donde se combinó el agua residual y los biopolímeros, con una velocidad de agitación de 120 rpm, tiempo de contacto de 1, 2 y 3 h y concentraciones de 0.4, 0.6, 0.8 y 1 g. Se realizaron análisis de pH, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST) y cromo hexavalente (Cr^{+6}) de las muestras obtenidas. Para la comparación con Valores Máximos Admisibles (VMA), se utilizaron las muestras que mostraron mayor remoción de SST y Cr^{+6} . Para el análisis estadístico de los diferentes tiempos y concentraciones, se realizó una prueba ANOVA y de comparación múltiple, para la comparación de eficiencias entre pectina y quitosano se realizó la prueba T de student. Y para el análisis económico, se realizó una simulación a escala industrial del tratamiento con biopolímeros y se comparó con la tecnología actual que posee la empresa donde se realizó el muestreo. **[Resultados]:** Los resultados mostraron que se registró una remoción del Cr^{+6} de 98.33 % y 98.30 % para la cantidad de 1 g tanto de quitosano como de pectina, respectivamente, ambos con un tiempo de contacto de 1 h. Los sólidos suspendidos totales revelaron una reducción del 98.00 % con 1 h de mezcla para la pectina y 96.00 % con 3 h de mezcla usando el quitosano. La eficiencia de remoción entre quitosano y pectina no mostraron una diferencia significativa. En la parte económica a comparación con la tecnología actual de la curtiembre, existe un ahorro en los costos fijos de USD 2423.24 y entre los costos quincenales con la pectina se ahorraría USD 995.86 y mientras que con el quitosano se tendría un ahorro de USD 743.36. Las concentraciones de los parámetros sólidos sedimentables y aceites y grasas se encontraron dentro de los VMA. Sin embargo, no se cumplió para sulfuros, DBO y DQO. **[Conclusiones]:** Se logró una considerable disminución del Cr^{+6} y de los SST con el uso de biopolímeros, además de que ambos resultaron ser muy eficientes para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre, por lo que se demuestra que se trata de una tecnología más rentable económicamente a comparación de la tecnología empleada por la curtiembre estudiada. Sin embargo, para poder alcanzar los requerimientos de los VMA se deben utilizar alguna tecnología adicional como un filtro percolador anaerobio.

Palabras clave: curtiembres; quitosano; pectina; remoción de contaminantes.

1. Ingeniería Ambiental, egresada de la Universidad Científica del Sur, Perú.
<https://orcid.org/0000-0003-4502-3823>
nickoleallyson@gmail.com
2. Ingeniería Ambiental, egresada de la Universidad Científica del Sur, Perú.
natalyvimg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9586-7851>

ABSTRACT

[Introduction]: For years, wastewater from tanneries has been discharged into various water sources without any control or with inefficient technologies, generating a negative impact on water quality. **[Objective]:** The objective of the study was to evaluate the technical-economic feasibility of the use of the biopolymer pectin and chitosan for the treatment of tannery wastewater. **[Methods]:** Extraction of pectin from cocona (*Solanum sessiliflorum*) and chitosan from shrimp (*Caridea*) was performed. A jar test was performed where the wastewater and biopolymers were combined, the agitation speed was 120 rpm, the contact time was 1, 2 and 3 h and concentrations of 0.4, 0.6, 0.8, and 1 g. Analyses of pH, chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), total suspended solids (TSS) and hexavalent chromium (Cr^{+6}) were performed on the samples obtained. For comparison with Maximum Allowable Values (MAV), the samples that showed the highest TSS and Cr^{+6} removal were used. For the statistical analysis of the different times and concentrations an ANOVA and multiple comparison test was performed, and for the comparison of efficiencies between pectin and chitosan a Student's T-test was performed. For the economic analysis, an industrial-scale simulation of the biopolymer treatment was carried out and compared with the current technology of the company where the sampling was carried out. **[Results]:** The results showed that a Cr^{+6} remove of 98.33 % and 98.30 % was recorded for 1 g of both chitosan and pectin, respectively, both with a contact time of 1 h. Total suspended solids revealed 98.00 % reduction with 1 h of mixing for pectin and 96.00 % with 3 h of mixing using chitosan. The removal efficiency between chitosan and pectin did not show a significant difference. In the economic part compared to the current technology of the tannery, there is a saving in fixed costs of USD 2423.24 and between the biweekly costs with pectin would save USD 995.86 and while with chitosan there would be a saving of USD 743.36. The concentration of settleable solids and oils and fats parameters were found to be within the MAV. However, for sulfides, BOD and COD were not met. **[Conclusions]:** A considerable decrease in Cr^{+6} and TSS was achieved with the use of biopolymers, in addition to the fact that both proved to be very efficient, demonstrating that it is a more economically profitable technology compared to the technology used by the tannery studied. However, in order to meet the requirements of the MAV, some additional technologies such as chemical oxidation or ozone treatment should be used.

Keywords: tannery; chitosan; pectin; contaminant removal.

1. Introducción

La industria de curtiembre tiene como objetivo la transformación de la piel de animales (como el cerdo, vaca, caballo, entre otros) en cuero para la fabricación de diversos tipos de prendas de vestir, accesorios, muebles, entre otros. Dependiendo del producto y del origen de la piel, se utilizan diferentes métodos de pre-curtido como el desengrase, el purgado, el desengrasado y el piquelado; posteriormente, pasan por el proceso de curtición (Córdova *et al.*, 2013). Desde el siglo XX esta industria ha incrementado su demanda en todo el mundo, es requerida por muchos sectores comerciales, principalmente relacionados con la moda (Silva y Salinas, 2022).

El proceso de producción de las curtiembres es muy similar en los países latinoamericanos, los cuales son realizados por pequeñas y medianas empresas, las cuales cuentan con mínima actualización tecnológica, lo que resulta en una insuficiente protección del medio ambiente (Martínez y Romero, 2018). Países como Argentina y Ecuador la producción del cuero va en aumento año tras año, tanto para consumo interno como para la exportación (Duran y Martínez, 2022). Esta industria también se encuentra muy presente en países como Venezuela, Colombia y Perú (Gomez *et al.*, 2018). En Perú, se identificaron este tipo de fábricas de curtido en los departamentos de Arequipa, Lima y Trujillo, encontrando un 90 % de estas en Trujillo debido a que esta ciudad es conocida por su alta demanda de calzado y cerca a zonas ganaderas (García, 2021).

Con el desarrollo de la industria de la curtiduría, las aguas residuales de este tipo de industria se han convertido en una de las principales fuentes de contaminación industrial, además de ser una de las más contaminantes (Zhao y Chen, 2019). En los procesos de pre-curtido y curtido, se generan aproximadamente un 90 % de todos los contaminantes, siendo los principales cromo, sulfuro y materia orgánica (ITP, 2018). En el proceso tradicional, se consume aproximadamente de 60 % a 80 % del cromo aplicado el cual es importante debido a que genera una excelente calidad del producto, y lo restante se procede a eliminar como agua residual (Córdova *et al.*, 2014), donde se puede encontrar aproximadamente una concentración de 198.1 mg de cromo total (Cr total) por litro de agua (Zevallos, 2014).

Estas aguas residuales se caracterizan principalmente por presentar altos valores de DQO y DBO, además de la presencia de nitrógeno, fósforo, sulfuros y Cr^{+6} (Martínez y Romero, 2018). Por otro lado, también se han encontrado presencia de hidrocarburos y de pesticidas (Duarte *et al.*, 2009). Otra de las principales características que poseen estas aguas es que su pH es básico y puede llegar hasta 13, debido a la gran cantidad de sulfuros utilizados en los procesos de extracción del pelambre del animal (Salas, 2005).

Aunque existen normativas para el vertimiento de aguas negras, estas suelen descargarse directa e indirectamente en cuerpos de agua naturales sin previo tratamiento, especialmente en los países en vías de desarrollo, lo cual genera procesos de eutrofización en las aguas superficiales, provocando la pérdida de biodiversidad y problemas de salud pública (Martínez y Romero, 2018).

Por este motivo, es necesario aplicar tratamientos de aguas residuales de calidad en las empresas de curtiembres; sin embargo, en el Perú actualmente no existe un tratamiento único que sea utilizado para la descontaminación de las aguas residuales que generan estas curtiembres, por lo que cada empresa utiliza el sistema que considera más adecuado según los equipos que usen en sus procesos y de la cantidad de trabajadores (Castillo y López, 2018). El 93 % de las empresas de curtiembres peruanas son pequeñas empresas, lo cual ocasiona que sus sistemas de tratamiento de aguas residuales y de residuos sólidos sean poco eficientes o hasta inexistentes (Rendulich,

2019). Debido a esta grave situación, las aguas residuales de estas empresas en las diversas provincias del país son vertidas hacia las plantas de tratamiento domésticas o efluentes naturales sin ningún proceso previo (Sotomayor, 2006).

Asimismo, ciertas empresas informales incumplen con la legislación aplicable sobre la descarga de aguas residuales, por lo que no pueden obtener una licencia ambiental para el vertimiento de sus aguas. En esta misma línea, si estas empresas son descubiertas por las entidades supervisoras y fiscalizadoras del Estado, se procedería a su clausura definitiva y, por lo tanto, aumentaría el desempleo (Ortiz y Carmona, 2015).

El Cr^{3+} se transforma en Cr^{6+} en contacto con el agua debido a la reducción del ácido sulfhídrico, amoníaco, azufre, nitrito y sulfuro de hierro, lo que ocasiona que este metal pesado pueda precipitar de forma rápida y sea asimilado por las partículas que se encuentran en suspensión. Por este motivo, diversas especies marinas como las ostras, almejas, peces y mejillones pueden acumular este metal dentro de su organismo y verse afectadas por estar en contacto con esta agua contaminada (Chávez, 2010).

Además, otro efecto negativo que trae el cromo en el medio ambiente es la contaminación de suelos, el cual ocasiona que las diversas plantas sembradas en estas zonas absorban estos contaminantes y, así, se afecte severamente a los seres vivos que las consuman. De igual manera, las especies marinas que están en contacto directo con agua con cromo pueden sufrir daños irreversibles en su piel como llagas o la aparición de tumores (Cerón, 2018).

Por otro lado, esta situación también puede traer consecuencias en los seres humanos, ocasionando enfermedades alérgicas para la piel, respiratorias y cancerígenas (Benítez, 2011). En ese sentido, se ha demostrado que el Cr^{6+} en el cuerpo puede originar sangrado o irritaciones de la nariz, enfermedades graves como el cáncer de pulmón, daños del hígado o de los riñones, debilitación de nuestro sistema inmunológico o nos puede generar hasta la muerte (Castiblanco y Perilla, 2019).

De la misma manera, otro parámetro que presenta altas concentraciones en las curtiembres son los sólidos suspendidos totales (SST) debido a las elevadas cantidades de pelaje, grasa animal, proteínas en suspensión, cabello, estiércol y sangre que generan sus procesos (Ramos y Vargas, 2020). El aumento de las concentraciones de SST en el medio ambiente y, principalmente, en los cuerpos de agua genera un aumento de la turbidez, disminuyendo así la entrada de la luz solar, por lo que la biodiversidad puede perjudicarse, ya que sin la luz solar no puede existir un desarrollo de la vegetación acuática (Semarnat, 2016).

A lo largo de los años se han investigado diversas tecnologías fisicoquímicas y biológicas para inmovilizar, eliminar o reducir contaminantes en las aguas residuales (Montenegro *et al.*, 2019), pero el uso de algunos tratamientos convencionales suelen presentar efectos adversos, como el uso de reactivos químicos, los cuales pueden formar productos halogenados dañinos para los seres vivos (Vergara, 2015). Otros tipos de tratamientos fisicoquímicos tienen un coste muy alto, un elevado nivel de conocimiento para su análisis y para su experimentación (Campos y Marchán, 2021).

Entre los tratamientos convencionales más modernos, los biopolímeros están cobrando relevancia recientemente, los cuales se definen como biomoléculas de origen natural sintetizadas por microorganismos, plantas y animales (Sahana y Rekha, 2018). Estos se pueden clasificar según su fuente, los cuales se dividen en tres subgrupos: polímeros que son basados en monómeros bioderivados y son biodegradables, procedentes de recursos renovables y, por último, biopolímeros extraídos de microorganismos (Valero *et al.*, 2013).

En los últimos años los biopolímeros han ganado prestigio debido a sus propiedades de biodegradabilidad, biocompatibilidad y renovabilidad, además de que se obtienen a

un bajo costo de producción (Pattanashetti *et al.*, 2017). Del mismo modo, se ha demostrado mediante varias investigaciones realizadas su efectividad para remover materia orgánica y para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas (Lim *et al.*, 2018). Entre los biopolímeros más investigados y que poseen una alta eficiencia para tratar aguas residuales tenemos al quitosano, de tamarindo y a la pectina (Fernández y Ruiz, 2020).

Como se menciona anteriormente, uno de los biopolímeros más estudiados es el quitosano, el cual es obtenido gracias a la desacetilación de la quitina y que podemos encontrar en el exoesqueleto de los crustáceos y en algunos insectos (Desbrières y Guibal, 2018). Su capacidad de adsorción de metales ocurre debido a que poseen grupos funcionales amino, los cuales actúan en forma de ligandos delante a contaminantes (Rodríguez, 2011). Además se demostró su eficiencia para la remoción del color a un 78 % en aguas residuales de una curtiembre que utiliza altas concentraciones de colorante aniónico en sus procesos (Hala y Ali, 2019).

Otro biopolímero importante es la pectina, el cual se puede obtener de la cáscara de frutos cítricos y de algunos vegetales. Una de sus principales características es su capacidad adsorbente, la cual depende mucho de la cantidad de carboxilos en forma aniónica que contenga la pectina, ya que este componente genera una interacción con especies de carga positiva como los metales (García *et al.*, 2011; Sánchez *et al.*, 2014). Según un estudio realizado en el 2018, se comprobó que la pectina obtenida de la cáscara de naranja adsorbió un 94 % de iones de cromo en aguas residuales de curtiembre (Ramírez *et al.*, 2018).

Por lo antes descrito, es importante investigar tratamientos eficientes y de bajo costo para que así las pequeñas y medianas curtiembres puedan tener acceso a tratar sus aguas residuales, así puede ser descargada directamente a las redes de alcantarillado o a cuerpos de agua. Además, estos biopolímeros son biodegradables e inoocuos, en comparación a otras tecnologías como tratamientos de floculación y coagulación, entre otros (Méndez y Arias, 2014).

2. Metodología

2.1 Recolección y ubicación de la muestra

El muestreo del agua residual se realizó en una microempresa de curtiembre ubicada en el distrito de Ate (Lima, Perú), entre las coordenadas: 12°03'54.6" S y 76°58'33.8" O. El proceso que realiza dicha empresa consta como primer paso la selección de las pieles, seguidamente por los procedimientos de desengale y desengradado y, por último, del proceso de curtido. La muestra estuvo compuesta por 56 L de agua residual, la cual se recolectó del tanque de almacenamiento, donde se vierte el agua cruda proveniente de sus procesos industriales y se realizó un tipo de muestreo puntual y simple de forma manual.

2.2 Análisis del agua residual obtenida de la empresa de curtiembre

Se midió el pH a la muestra recolectada con papel tornasol *in situ* y, posteriormente, fue llevada al laboratorio de química de la Universidad Científica del Sur, donde se volvió a medir el pH por medio de un pHmetro HANNA HI 98130. Por otro lado, las concentraciones de DBO, DQO, SST, turbidez y de Cr⁺⁶ se analizaron en el laboratorio acreditado R-LAB S.A.C.

Para la prueba de DBO, se llenó completamente un envase de plástico de 1 000 mL

con la muestra de agua residual, sin presencia de burbujas, posteriormente se almacenó y se mandó a evaluar mediante la metodología de *5-days BOD test*. En el caso del DQO, se vertió 100 mL de muestra en un envase de plástico donde se añadió ácido sulfúrico (H_2SO_4) hasta llegar a un pH menor a 2 para su conservación y almacenamiento y en el análisis se utilizó la metodología *closed reflux, colorimetric method*. Con respecto del SST, se utilizó un frasco de plástico de 250 mL lleno con la muestra, la metodología para este parámetro fue el de *total suspended solids dried at 103-105°C*. Para la turbidez, se realizó en un envase de plástico ámbar de 100 mL y se aplicó el método *nephelometric*. Por último, para el Cr^{+6} se llenó un frasco de plástico y se le agregó NaOH y sulfato de amonio ($(NH_4)_2SO_4$) hasta llegar a un pH 9.3, se aplicó la metodología de *chromium colorimetric method*.

2.3 Extracción de pectina

La metodología utilizada se adaptó a la descrita por Molina (2016), se adquirió 12 Kg de cocona (*Solanum sessiliflorum*) de una chacra en Iquitos (Perú), estas fueron trasladadas vía aérea a la ciudad de Lima y llevadas al laboratorio de química de la Universidad Científica del Sur, donde se sumergieron en agua a 85 °C por 15 min, posteriormente se traspasó a un recipiente con agua a una temperatura ambiente, en donde se separó la cáscara de sus semillas y pulpa, la cáscara se secó a 50 °C por 24 h, luego se molió y tamizó con un tamiz N° 40 (425 μ m).

Para el proceso de extracción se utilizó una solución compuesta por agua potable mezclada con HCl 1 M, obteniendo un pH de 2.5, el cual se verificó con un pHmetro HANNA HI 98130, la solución se mezcló con las cáscaras secas y molidas, se calentó mediante un sistema abierto a una temperatura de 95.5 °C por 60 min, el cual contiene agitadores magnéticos y una plancha de calentamiento.

Se filtró con una tela 100 % poliéster con un tamaño de poro de aproximadamente 7 μ m, al producto filtrado se vertió alcohol etílico al 96 % v/v y se dejó reposar por 2 h a una temperatura ambiente, permitiendo así que la pectina salga a flote, la cual se filtró nuevamente con una tela de 100 % poliéster. A la pectina obtenida, se realizaron tres lavados con etanol para ser purificada, el primer lavado se utilizó etanol al 85 %, los dos restantes se aplicaron etanol al 96 %. Por último, se dejó secar la pectina a lo largo de 6 h a una temperatura de 50 °C, se molió y se almacenó a temperatura ambiente.

2.4 Extracción del quitosano

La metodología utilizada se adaptó a la descrita por Del Valle (2017), el biopolímero quitosano se obtuvo a partir de 10 kg de camarón obtenidos de puestos de ventas de productos marinos ubicados en el mercado Santa Rosa del distrito de Chorrillos (Lima, Perú) y de los cuales solo se extrajo el exoesqueleto.

Este exoesqueleto se lavó, se dejó escurriendo y secando en papel aluminio alrededor de dos semanas a temperatura ambiente. A lo largo de ese tiempo, se agitó continuamente para lograr que se seque de manera homogénea y se consiguió la descomposición de la materia orgánica. Seguidamente, se trasladó el producto al Laboratorio de Química de la Universidad Científica del Sur, donde fue molido y se obtuvo así un producto menor a 0.5 cm. A continuación, se realizó la desproteínización, en donde se vertió en carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 4 % el producto obtenido a 40 °C y por 3 h para conseguir así el material proteico.

Posteriormente, se procedió a disgregar la cáscara al realizar el filtrado y lavado del producto. En seguida, se sometió a la desmineralización, vertiendo ácido clorhídrico (HCl) de 5 % v/v en el producto a temperatura ambiente y

aproximadamente de 12 a 24 h. Se procedió a lavar y filtrar el producto. Para el blanqueamiento necesario, el producto se colocó de nuevo en carbonato de sodio a temperatura ambiente durante 4 días. Seguidamente, lo obtenido se filtró y calentó a 30 °C, con la intención de agilizar el desarrollo del procedimiento. Al finalizar, se obtuvo el producto en forma de polvo blanquecino.

2.5 Tratamiento de coagulación-floculación mediante prueba de jarras

La prueba de jarras es una metodología que permite simular a escala de laboratorio los procesos de coagulación y floculación utilizando diversas concentraciones de coagulantes y/o floculantes, con el objetivo de reducir la materia orgánica y coloides en suspensión presentes en una masa de agua (Fúquene y Yate, 2018).

Este ensayo se realizó en el Laboratorio de Química de la Universidad Científica del Sur, utilizando cuatro concentraciones de cada biopolímero las cuales fueron: 0.4, 0.6, 0.8 y 1 g, cada una mezclada en 250 ml de agua destilada. La metodología utilizada para la prueba de jarras fue adaptada a la descrita por Hala & Ali (2019), en cuatro vasos precipitados de 1 000 ml se vertieron 500 ml de agua residual y se añadió la mezcla mencionada anteriormente. La velocidad de mezcla establecida fue de 120 rpm y se evaluó a tres tiempos diferentes: 1, 2 y 3 h.

2.6 Análisis del agua residual post tratamiento

En las muestras post tratamiento, se dejó sedimentar por 1 h y se procedió a realizar los mismos análisis de los parámetros descritos previamente en el pretratamiento. Para las muestras que presentaron un mayor porcentaje de remoción de contaminantes, se analizaron tres parámetros adicionales, los cuales fueron Aceites y Grasas, Sulfuros y una corrida de metales. Para los aceites y grasas, se vertió la muestra en un frasco de vidrio de 1 000 mL y se le agregó H₂SO₄ hasta llegar un pH menor 2, seguidamente para su análisis se utilizó la metodología titulada: *n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry*. Por otro lado, para sulfuros se agregó la muestra en un envase de 100 mL de plástico y se le añadió acetato de zinc y NaOH para llegar a un pH mayor a 9, posteriormente se utilizó la metodología de *Sulfide Methylene Blue*. Por último, para la corrida de metales se vertió en un frasco de plástico de 1000 mL HNO₂ con la muestra hasta llegar a un pH menor a 2 se utilizó la metodología titulada: *Espect ICP-MS*.

2.7 Análisis de datos

Se utilizó el software estadístico SPSS para realizar el procesamiento de datos y el posterior análisis. En primer lugar, se realizó una prueba ANOVA donde se observó si los resultados eran significativamente diferentes respecto a las distintas concentraciones y los diferentes tiempos empleados. Posteriormente se realizó una comparación múltiple mediante una prueba *post hoc*, y para el análisis de comparación entre pectina y quitosano se realizó la prueba paramétrica T de Student.

2.8 Análisis de costos

Para el análisis de costos, se realizó una simulación a escala industrial del tratamiento planteado en esta investigación y se comparó con la tecnología actual que posee la empresa donde se realizó el muestreo, tomando en cuenta los costos de inversión que se necesitan para implementar ambas tecnologías.

2.9 Comparación con la normativa vigente

Los análisis de Sólidos Suspendidos Totales, Aceites y Grasas, Sulfuros y Sólidos Sedimentables, junto con los análisis realizados al agua postratamiento se compararon con los parámetros establecidos mediante el DS-010-2019-VIVIENDA refrendado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento el cual aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillados.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis del agua residual

Para la obtención de los resultados se tomó en consideración un punto de muestreo. Se realizaron monitoreos de parámetros fisicoquímicos como el pH, turbidez, DBO, DQO, Cr⁺⁶ y SST detallado en el **Cuadro 1**, entre los principales resultados encontramos que el pH fue de 13, el de Cr⁺⁶ fue de 0.60 mg/l, DBO de 3 282 mg/l y DQO 7 860 mg/l. Los resultados conseguidos son mayores comparados a los obtenidos por Zeballos (2014) en una empresa de curtiembres de Arequipa, especialmente donde el SST fue de 1 766 mg/l mientras que los resultados de nuestra muestra sin tratamiento (M-Blanco) obtuvo 5 000 mg/l. Esto podría deberse a que el agua obtenida se almacenaba en un tanque para posteriormente realizarse el tratamiento pertinente. Los valores de pH, DBO y DQO fueron muy similares a los obtenidos por Rosas (2019). En el caso del Cr⁺⁶, Castillo y López (2018) obtuvieron valores de 0.024 mg/l, mientras que Morocho (2017) mostró un resultado de 0.753 mg/l, esta variación puede ser a las distintas concentraciones de Cr que utilizan las curtiembres.

Cuadro 1. Resultados de los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales provenientes de curtiembre.

Table 1. Results of the physicochemical analysis of the wastewater from the tannery.

Parámetros	Concentración	Unidad
pH	13	
Turbidez	1 000	NTU
DBO	3 282	mg/l
DQO	7 860	mg/l
Cr ⁺⁶	0.60	mg/l
SST	5 000	mg/l

3.2 Resultados de porcentaje de remoción de Cr⁺⁶ y SST con pectina

En el **Cuadro 2** se muestran las concentraciones iniciales y finales de Cr⁺⁶ y SST usando cuatro diferentes concentraciones de pectina y tres diferentes tiempos de mezclado, además del porcentaje de remoción por cada muestra. Solo se analizaron y compararon el porcentaje de remoción de estos contaminantes debido a que son los más perjudiciales para la calidad del agua.

La muestra control presentó concentraciones iniciales de 0.6 mg/l de Cr⁺⁶, la muestra M-1P obtuvo un valor de 0.13 mg/l de Cr⁺⁶ residual, el cual fue disminuyendo hasta llegar a la muestra M-7P donde mantuvo un valor de 0.01 mg/l, obteniendo así el 98.33 % de remoción de Cr⁺⁶. En el caso de los SST, la concentración inicial fue de 5 000 mg/l, y su concentración máxima remoción se vio reflejada en M-10P con una remoción del 98.02 %, mientras que la mínima fue de 86.12 %.

Para la prueba ANOVA se realizó con una significancia de 0.05, los resultados para la remoción del Cr según el tiempo el p-valor fue de 0.742, mientras que según la concentración de pectina su p-valor resultó 0.001. En cuanto a la eliminación de sólidos suspendidos (SST), se observó una diferencia significativa en función del tiempo de mezcla, ya que su p-valor fue menor que el nivel de significancia establecido. Sin embargo, para la concentración de pectina, el p-valor fue de 0.457 y no alcanzó la significancia estadística. En cuanto a la comparación múltiple, la concentración de 0.4 g muestra una diferencia de remoción muy marcada comparada con las concentraciones de 0.6, 0.8 y 1 g.

Cuadro 2. Valores de las concentraciones iniciales y finales de Cr⁺⁶ y SST post tratamiento empleando pectina y porcentaje de remoción del Cr⁺⁶ y SST.

Table 2. Values of the initial and final concentrations of Cr⁺⁶ and TSS post treatment using pectin and percentage of removal of Cr⁺⁶ and TSS.

Identificación de la muestra	Tiempo (h)	Concentración (g)	Cr ⁺⁶			SST		
			Concentración inicial (mg/l)	Concentración final (mg/l)	Remoción de Cr ⁺⁶ (%)	Concentración inicial (mg/l)	Concentración final (mg/l)	Remoción de SST (%)
M-1P	1	0.4	0.6	0.13	78.33	5000	265	94.70
M-2P	2	0.4	0.6	0.08	86.67	5000	450	91.00
M-3P	3	0.4	0.6	0.08	86.67	5000	694	86.12
M-4P	1	0.6	0.6	0.07	88.33	5000	192	96.16
M-5P	2	0.6	0.6	0.05	91.67	5000	425	91.50
M-6P	3	0.6	0.6	0.03	95.00	5000	425	91.50
M-7P	1	0.8	0.6	0.01	98.33	5000	148	97.04
M-8P	2	0.8	0.6	0.01	98.33	5000	373	92.54
M-9P	3	0.8	0.6	0.01	98.33	5000	428	91.44
M-10P	1	1.0	0.6	0.01	98.33	5000	99	98.02
M-11P	2	1.0	0.6	0.01	98.33	5000	440	91.20
M-12P	3	1.0	0.6	0.01	98.33	5000	164	96.72

Los resultados muestran que a mayores concentraciones de pectina, mayor será su remoción de contaminantes, tal y como lo demuestran Paredes y Valles (2020), quienes lograron una remoción del 96.00 % con su más alta cantidad de adsorbente, la cual fue de 60 g de pectina proveniente de cáscara de naranja. Tejada *et al.* (2015) también menciona que la cantidad de adsorbente es un factor clave para disminuir la concentración de contaminantes. Sin embargo, se demostró que a mayor tiempo de mezclado, la remoción fue disminuyendo. Cardona *et al.* (2017) mencionan que los biopolímeros se saturan dependiendo del tamaño de su partícula, por lo que con el paso del tiempo estas pueden liberar los contaminantes adsorbidos reduciendo la remoción de estos, lo que se observa en la remoción de SST con respecto al tiempo.

3.3 Resultados de porcentaje de remoción de Cr⁺⁶ y SST con quitosano

En el **Cuadro 3** se obtuvo una concentración inicial de Cr⁺⁶ de 0.6 mg/l y SST de 5000 mg/l. Posteriormente del tratamiento con el quitosano, la muestra que removió menos Cr⁺⁶ fue M-2Q con una concentración de 0.09 mg/l y se tuvo una mayor remoción en la muestra M-7Q, la cual alcanzó un 98.30 %.

Por otro lado, la muestra que removió una mayor concentración de SST fue la M-12Q, con un porcentaje de 96.00 %, lo que sigue la misma tendencia que se describe en la remoción con el biopolímero pectina, en el cual se menciona que, a una mayor concentración, es mayor el porcentaje de remoción.

La prueba ANOVA con una significancia de 0.05 determinó que la remoción de Cr⁺⁶ tenía un p-valor de 0.832, lo que indica que la remoción de Cr⁺⁶ no varía con relación al tiempo. Lo mismo se realizó para analizar remoción de Cr⁺⁶ con respecto a la concentración, el p-valor resultó menor al valor de significancia y se determinó que sí varía con relación a la concentración. Para los SST, el factor tiempo dio como resultado un p-valor de 0.462 y para la concentración resultó un p-valor de 0.837, lo cual indica que ambos no varían con respecto al tiempo y a la concentración del quitosano, respectivamente. Por último, en la comparación múltiple se observa que las concentraciones de 0.6 y 0.8 g muestran una mayor diferencia significativa con relación a las concentraciones de 0.4 y 1 g.

Cuadro 3. Valores de las concentraciones iniciales y finales del Cr⁺⁶ y SST post tratamiento empleando quitosano y porcentaje de remoción del Cr⁺⁶ y SST.

Table 3. Values of the initial and final concentrations of Cr⁺⁶ and TSS post treatment using chitosan and percentage of removal of Cr⁺⁶ and TSS.

Identificación de la muestra	Tiempo (h)	Peso (g)	Cr ⁺⁶			SST		
			Concentración inicial (mg/L)	Concentración final (mg/L)	Remoción de Cr ⁺⁶ (%)	Concentración inicial (mg/L)	Concentración final (mg/L)	Remoción de SST (%)
M-1Q	1	0.4	0.6	0.08	86.67	5000	296	94.08
M-2Q	2	0.4	0.6	0.09	85.00	5000	299	94.02
M-3Q	3	0.4	0.6	0.05	91.67	5000	321	93.58
M-4Q	1	0.6	0.6	0.05	91.67	5000	310	93.80
M-5Q	2	0.6	0.6	0.08	86.33	5000	408	91.84

M-6Q	3	0.6	0.6	0.06	90.00	5000	359	92.82
M-7Q	1	0.8	0.6	0.01	98.30	5000	326	93.48
M-8Q	2	0.8	0.6	0.01	98.30	5000	448	91.04
M-9Q	3	0.8	0.6	0.01	98.30	5000	220	95.60
M-10Q	1	1.0	0.6	0.01	98.30	5000	464	90.72
M-11Q	2	1.0	0.6	0.01	98.30	5000	210	95.80
M-12Q	3	1.0	0.6	0.01	98.30	5000	200	96.00

Para Najarro (2021), el Cr^{+6} se redujo un porcentaje de 61.20 % en aguas residuales de una curtiembre, el cual es un porcentaje menor al obtenido, esto puede ser debido a que solo se utilizó 0.4 g de biopolímero obtenido de los desechos de cangrejo. Por otro lado, Rodríguez *et al.* (2022) en su investigación determinaron una remoción de SST de 99.30 % con una dosis de quitosano sintético de 0.4 g. Asimismo, se determinó que, a mayor concentración, mayor fue el porcentaje de remoción.

3.4 Comparación de la eficiencia de los biopolímeros en la remoción del Cr^{+6} y SST

Se realizó la prueba paramétrica T para la comparación de los biopolímeros utilizados, en relación con los porcentajes de remoción de Cr^{+6} y SST para determinar cuál de estos bioadsorbentes tiene una mejor eficiencia.

La **Figura 1** muestra la distribución de datos obtenidos del porcentaje de remoción de Cr^{+6} con el uso de la pectina y quitosano. Los datos de la pectina a pesar de estar un poco más dispersos a comparación del quitosano, la mayoría de los valores obtenidos se encuentran en el mismo rango. Según la prueba estadística realizada, se obtuvo un valor de 0.975, con una significancia de 0.05, por lo que no existe una diferencia significativa entre la pectina y el quitosano.

El rango de remoción de Cr^{+6} para el quitosano fue del 85.00 % al 98.30 % mientras que para la pectina fue de 78.33 % al 98.33 %. Paredes y Valles (2020) también midieron el efecto del tiempo y la cantidad de pectina proveniente de la cáscara de limón sobre el porcentaje de remoción del Cr^{+6} , obteniendo un rango de valores muy parecido, entre 85.00 % y 94.00 %; sin embargo, la cantidad de pectina utilizada fue mayor al igual que el tiempo de mezcla. Respecto al quitosano los datos obtenidos son muy similares a los conseguidos por Hossain *et al.* (2017) lograron remover entre 99.93 % y 99.97 % de Cr, la razón por la cual pudo suceder esto es debido al tipo de biopolímero usado ya que utilizó quitosano sintetizado a partir de caparazón de cangrejo, además las concentraciones usadas fueron más altas.

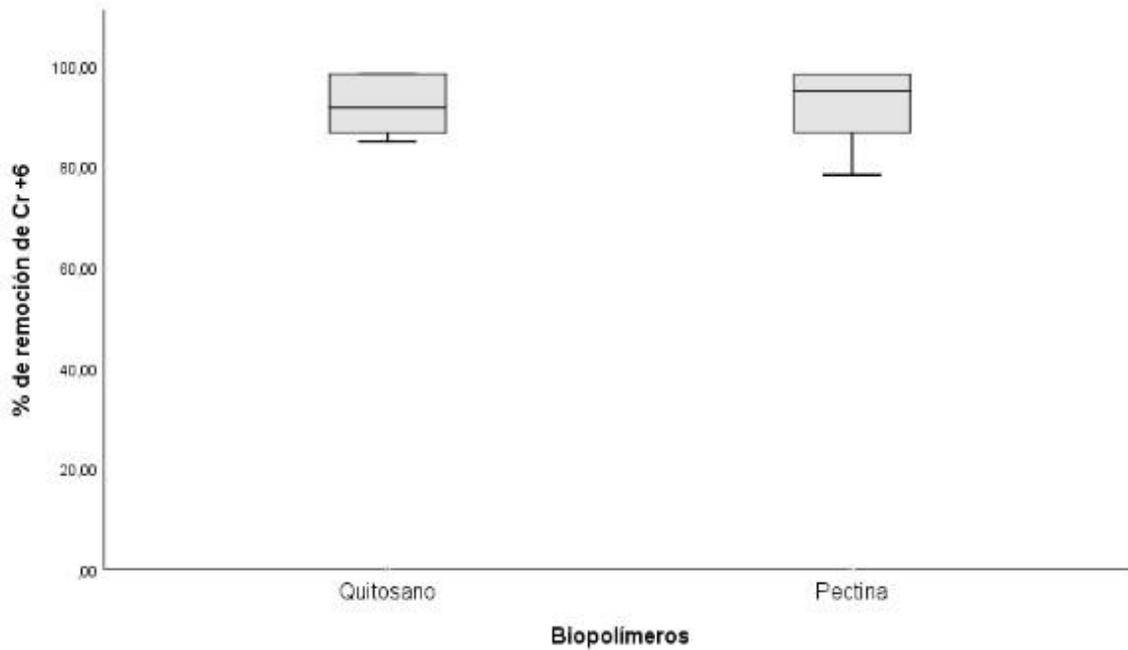


Figura 1. Gráfico de cajas sobre la distribución de datos de remoción de Cr^{+6} con pectina y quitosano.

Figure 1. Boxplot on the distribution of Cr^{+6} removal data with pectin and chitosan.

En la **Figura 2** se analiza la distribución de datos de los porcentajes de remoción de SST con tratamientos de tipo quitosano y pectina y se observa que los datos están muy concentrados alrededor de su mediana. Con respecto al quitosano, se determinó que sus valores se encuentran muy poco dispersos en comparación con los valores de la pectina. En cuanto a la prueba estadística, se obtuvo p-valor de 0.97, lo cual establece que la remoción de SST no difiere con el tiempo empleado en ambos tratamientos.

Con respecto al rango de remoción de los SST del quitosano fue de 90.72 % hasta un 96.00 %, y los valores de la pectina resultaron desde un 86.12 % hasta un 98.02 %. Laura (2018) determinó un porcentaje de remoción del parámetro SST de 75.00 % en los tres tipos pectina que elaboró con cáscara de naranja, mandarina y de limón respectivamente, este resultado es menor al obtenido en la presente investigación, esto puede ser debido a que se realizó en solo un tiempo de 15 min y se ha demostrado que la remoción de dicho parámetro sí varía con respecto al tiempo. Por otro lado, con respecto al quitosano Vejarano y Principe (2021) lograron un porcentaje de remoción de entre 39.30 % hasta 87.80 % con este biopolímero extraído de cáscaras de langostinos, con tiempos de floculación de 10, 15 y 20 min, los cuales son resultados similares a los presentados en esta investigación.

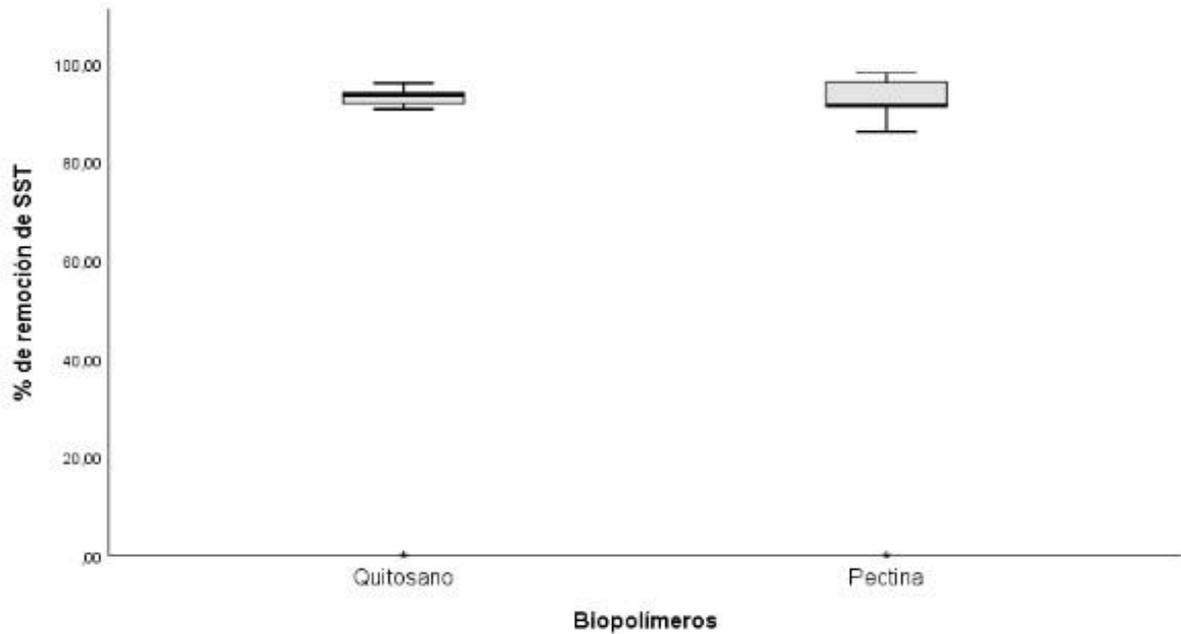


Figura 2. Gráfico de cajas sobre la distribución de datos de remoción de SST con pectina y quitosano.

Figure 2. Boxplot on the distribution of TSS removal data with pectin and chitosan.

3.5 Resultados de los costos de tratamiento con biopolímeros con respecto a la tecnología actual de la empresa

Los costos se tomaron en cuenta para un volumen de aproximadamente 12 500 L de agua residual. En el **Cuadro 4**, se observan los costos fijos de inversión de la curtiembre en donde utiliza una área de rejillas para retener sólidos de gran tamaño, 3 tanques de 20 m³ cada uno y equipos de medición. Con todo lo antes mencionado, se observa que el costo total que genera el uso de este tipo de tratamiento es de USD 21245.43.

Cuadro 4. Costos fijos empresariales de la tecnología actual de la curtiembre.

Table 4. Fixed business costs of current tannery technology.

Descripción	Unidad		Costo unitario	Costo total
Área de rejillas	Unidad	1	\$ 523.29	\$ 523.29
Tanques (De 20 m ³)	Unidad	3	\$ 6 384.09	\$ 19 152.28
Equipo de medición	Unidad	2	\$ 784.93	\$ 1 569.86
			Total	\$ 21 245.43

Nota. Se hizo una conversión de soles (PEN) a dólares americanos (USD), con un tipo de cambio de USD 0.26 del día 06/12/2022.

En el **Cuadro 5** se observan los costos quincenales que tiene actualmente la curtiembre, en el cual utilizan el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 50% y cal para la floculación y sedimentación de contaminantes, además de el uso del clorinador y pastillas de cloro para la desinfección, y por último se agrega aproximadamente 6.3 m³ de agua potable para disminuir la turbidez presente. Con todo lo antes mencionado, se observa que el costo total que genera el uso de este tipo de tratamiento de manera quincenal es de USD 2 410.57.

Cuadro 5. Costos quincenales empresariales de la tecnología actual de la curtiembre.

Table 5. Biweekly business costs of current tannery technology.

Descripción	Unidad		Costo unitario	Costo total
Peróxido de Hidrógeno (50 %)	Gal	6.5	\$ 300.3	\$ 1951.95
Cal	Kg	8	\$ 4.19	\$ 33.52
Clorinador Pastillas de cloro	Unidad	3	\$ 79.54	\$ 238.62
	Kg	6	\$ 13.06	\$ 78.36
Consumo de agua	m ³	6.3	\$ 3.32	\$ 20.91
Mantenimiento	Quincenal	1	\$ 87.21	\$ 87.21
			Total	\$ 2 410.57

Nota. Se hizo una conversión de soles (PEN) a dólares americanos (USD), con un tipo de cambio de USD 0.26 del día 06/12/2022.

Por otro lado en el **Cuadro 6**, se muestran los costos fijos de una tecnología con el uso de biopolímeros, donde se eliminó el uso de un tanque y se agregó el uso de un filtro percolador anaerobio para una mayor remoción de los contaminantes, logrando así un valor de USD 18 822.19 en costos fijos.

Cuadro 6. Costos fijos empresariales de la tecnología con biopolímeros.

Table 6. Business costs with biopolymers technology.

Descripción	Unidad		Costo unitario	Costo total
Área de rejillas	Unidad	1	\$ 523.29	\$ 523.29
Tanques (De 20 m ³)	Unidad	2	\$ 6 384.09	\$ 12 768.18
Filtro percolador anaerobio	Unidad	1	\$ 2 391	\$ 2 391
Equipo de medición	Unidad	2	\$ 784.93	\$ 1 569.86
			Total	\$ 18 822.19

Nota. Se hizo una conversión de soles (PEN) a dólares americanos (USD), con un tipo de cambio de USD 0.26 del día 06/12/2022.

Por otro lado, para los costos quincenales se reemplazó el uso del H₂O₂ al 50 %, cal, clorinador y pastillas de cloro por el uso de biopolímeros, tampoco se tiene en cuenta el

uso de agua potable ya que los biopolímeros tienen la capacidad de reducir la concentración de turbidez. En el **Cuadro 7** se observan los costos quincenales con pectina y en el **Cuadro 8** los costos quincenales con quitosano, siendo el costo total de USD 1414.71 para el tratamiento con pectina y de USD 1667.21 con el uso del quitosano.

Cuadro 7. Costo quincenal empresarial de una tecnología usando pectina.

Table 7 Business biweekly costs of current technology using pectin.

Descripción	Unidad		Costo unitario	Costo total
Pectina	Kg	25	\$ 52.7	\$ 1 327.5
Mantenimiento	Quincenal	1	\$ 87.21	\$ 87.21
			Total	\$ 1 414.71

Nota. Se hizo una conversión de soles (PEN) a dólares americanos (USD), con un tipo de cambio de USD 0.26 del día 06/12/2022.

Cuadro 8. Costo quincenal empresarial de una tecnología usando quitosano.

Table 8. Business costs of current technology using chitosan.

Descripción	Unidad		Costo unitario	Costo total
Quitosano	Kg	25	\$ 63.2	\$ 1 580
Mantenimiento	Quincenal	1	\$ 87.21	\$ 87.21
			Total	\$ 1 667.21

Nota. Se hizo una conversión de soles (PEN) a dólares americanos (USD), con un tipo de cambio de USD 0.26 del día 06/12/2022.

Los tratamientos convencionales para tratar efluentes industriales, especialmente de curtiembres, usan principalmente procesos físicos y de neutralización elemental y no suelen remover altas concentraciones de contaminantes. Por otra parte, existen tratamientos como la oxidación con ozono o hipoclorito, pero sus implementaciones son muy costosas y de difícil manejo (Ramírez *et al.*, 2013). Además, Tejada *et al.* (2015) mencionan la remoción de metales pesados es realizada mediante intercambio iónico sobre resinas, reducción, sedimentación, precipitación química, entre otros, los cuales también resultan ser tecnologías con un costo alto y muy poco eficientes, por lo que la bioadsorción podría ser una solución económica para los tratamientos de aguas residuales siendo también un tratamiento viable y eficiente.

3.6 Resultados de las aguas tratadas con biopolímeros con respecto a los valores máximos admisibles (VMA) para su descarga al alcantarillado

Con respecto a los VMA, se realizaron tres análisis adicionales: corrida de metales, concentración de sulfuros, y aceites y grasas. Se midieron en las muestras que presentaron una mayor remoción de SST y Cr⁺⁶: para el tratamiento con pectina se utilizó la M-10P y para el quitosano fue la M-12Q. Los datos obtenidos para la presente comparación se realizaron solamente con el uso de biopolímeros sin ningún tratamiento previo. Como se puede apreciar en la **Figura 3**, con el tratamiento de pectina y de quitosano se disminuyeron los parámetros de aceites y grasas, SST y Cr⁺⁶ con respecto al VMA. El tratamiento con pectina redujo el parámetro de DBO a 1 484 mg/l y el DQO a 5 606 mg/l; por otro lado, el quitosano disminuyó el DBO a 1 286 mg/l y el DQO a 5 279 mg/l. A pesar de esta considerable reducción, los parámetros de sulfuros, DBO y DQO no lograron cumplir con los valores establecidos por los VMA.

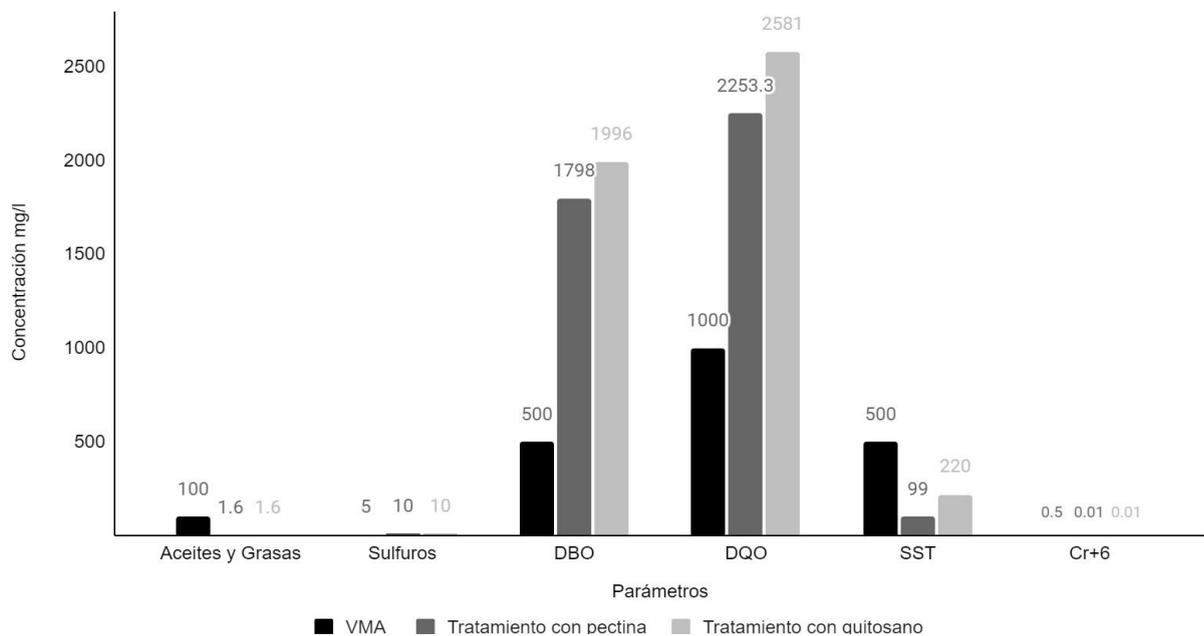


Figura 3. Comparación entre la normativa VMA y los tratamientos pectina y quitosano.
Figure 3. Comparison between MAV standards and pectin and chitosan treatments.

En Colombia, las curtiembres son una industria importante en su economía, con varias de estas empresas a nivel nacional (Martínez y Romero, 2018). La normativa colombiana, establecida por el Ministerio del Ambiente, fija el valor límite máximo en aceites y grasas en 15 mg/l, el cual es 85 mg/l menos que la normativa del Perú, al igual que el DBO y DQO, siendo menor al VMA por 800 mg/l, los SST en la normativa de Colombia su valor límite máximo es 100 mg/l. Con esta comparación entre ambas normativas, se afirma que los VMA de Perú son más permisibles que la normativa de Colombia. No obstante, el Cr⁺⁶ no se encuentra contemplado en la normativa de dicho país a pesar de ser un parámetro muy peligroso para la salud y el medio ambiente si se encontrara en altas concentraciones.

Por otro lado, con respecto a las concentraciones de metales pesados, el **Cuadro 9** muestra que todos estos parámetros post tratamientos con la pectina y el quitosano

resultaron ser valores menores que los establecidos en los VMA. Entre los valores más destacados que podemos encontrar post tratamiento es el aluminio que tuvo una concentración de 0.132 mg/l con la pectina y 1.1 mg/l con el quitosano, el cadmio que se obtuvo un valor de 0.00001 mg/l para la pectina y de 0.00248 mg/l con el quitosano. Así mismo, en la **Figura 4** se puede visualizar que con ambos tratamientos las concentraciones de metales pesados son menores a las establecidas por los VMA; sin embargo, el tratamiento con pectina demostró mayor remoción de algunos parámetros como el aluminio, cadmio y zinc.

Cuadro 9. Comparación de la concentración de metales post tratamiento y la normativa VMA.

Table 9. Comparison of the concentration of post-treatment metals and the MAV regulations.

Metal	Concentración según VMA (mg/l)	Concentración con tratamiento con pectina (mg/l)	Concentración con tratamiento con quitosano (mg/l)
Al	10	0.132	1.1
As	0.5	0.00077	0.00094
B	4.0	0.531	0.348
Cd	0.2	0.00001	0.00248
Cu	3.0	0.0049	0.0049
Mn	4.0	0.02	0.08344
Hg	0.02	0.002	0.000745
Ni	4.0	0.006	0.0061
Pb	0.5	0.003	0.00286
Zn	10.0	0.362	0.629

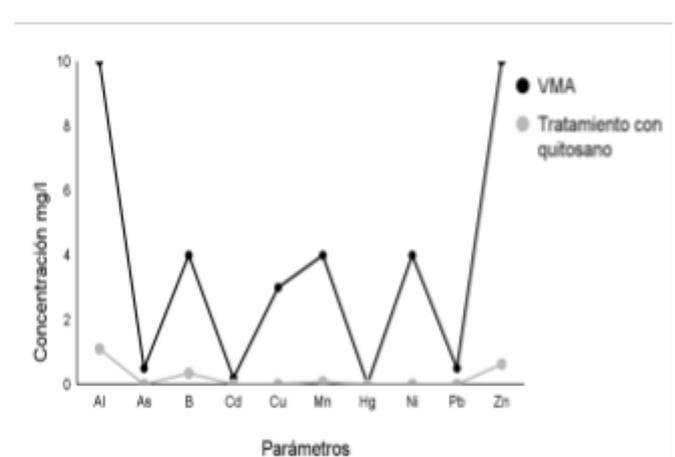
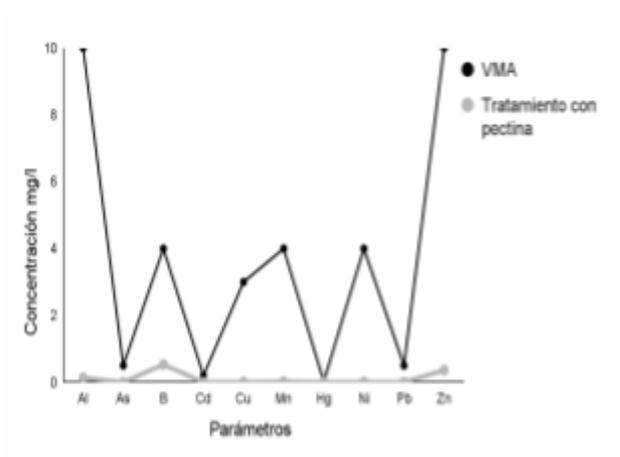


Figura 4. Comparación de la concentración de metales post tratamiento y la normativa VMA.

Figure 4. Comparison of the concentration of post-treatment metals and the MAV regulations.

Para la concentración de metales pesados, haciendo una comparativa con la normativa de Colombia, los parámetros de Al, B y Mn no tienen un valor máximo establecido, esto es debido a que la normativa dispone que dichos parámetros tienen que pasar por un análisis realizado por los responsables de esta actividad en laboratorios acreditados y dicho informe es enviado a la autoridad competente anualmente. Por otro lado, el valor del Zn no se encuentra establecido en la normativa. Los demás parámetros, como el As, poseen un valor máximo de 0.1mg/l, el cual es 0.4 mg/l menos que los VMA. Por otro lado, el Cd es 0.01 mg/l, el Cu es de 1 mg/l, el Hg es de 0.002 mg/l y el Pb tiene un valor máximo de 0.1 mg/l. Por último, Ni es un 0.10 mg/l, el cual es 3.9 mg/l más bajo que los VMA. Al finalizar, se afirma que los VMA de Perú para metales pesados son nuevamente más permisibles que la normativa de Colombia.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el análisis de aguas residuales corroboran lo mencionado en la literatura. Las concentraciones de DBO, DQO, Cr^{+6} , pH, SST y turbidez presentes en el agua resultaron ser muy altas, por lo que el vertimiento directo de estos efluentes hacia un cuerpo de agua ocasionaría una pérdida en la calidad de agua y provocando así un daño en la biodiversidad acuática, además el contacto directo con estas aguas contaminadas podría afectar la salud pública.

El biopolímero pectina registró una mayor remoción del Cr^{+6} a partir de utilizar una concentración de 0.8 g y de sólidos suspendidos totales (SST) a una concentración de 1 g a 1 h. En el caso de la remoción de Cr^{+6} , los valores no son muy diferentes según el tiempo, pero dependiendo de la concentración utilizada la remoción de este contaminante varía. Es decir, a mayor concentración de pectina, la remoción de Cr^{+6} será mayor. Por otro lado, los valores obtenidos en los SST demuestran que el tiempo es un factor clave para la remoción de este contaminante en comparación con la concentración, ya que se observa que, a mayor tiempo de mezcla, menos es el porcentaje de remoción; mientras que en la cantidad de bioadsorbente, los valores obtenidos no difieren significativamente.

Con respecto al quitosano, también se registró una mayor remoción del Cr^{+6} a partir de una concentración de 0.8 g y SST con una concentración de 1 g a 3 h. En relación con el Cr^{+6} , se determinó que su remoción sí varía con respecto a la concentración del biopolímero, convirtiéndolo en un importante factor en la investigación; sin embargo, con relación al tiempo se analizó que no varía la remoción del contaminante. Por otro lado, con respecto al SST, se demostró que, en cuanto al tiempo y la concentración del biopolímero, ninguno de los dos varía con respecto al porcentaje de remoción de dicho parámetro.

La comparación entre la eficiencia de remoción del Cr^{+6} usando pectina contra el uso del quitosano mostró que era muy similar entre los biopolímeros el rango de distribución de datos, por lo que se puede decir que tanto el quitosano como la pectina fueron igualmente eficientes en cuanto a la adsorción del Cr^{+6} , ya que ambos alcanzaron una remoción mayor de 98.30%, mientras que los valores mínimos alcanzados fueron mayores al 75.00%. De igual manera, en la comparación de la eficiencia en la remoción de SST mostró que los valores del quitosano se encuentran muy poco dispersos en comparación a los de la pectina. El porcentaje máximo de remoción de la pectina fue de 98.02% y el quitosano obtuvo 96.00%, con lo cual se afirma que el tratamiento con pectina resultó más eficiente con respecto a la remoción de SST.

La viabilidad económica usando este tipo de tratamiento resulta ser mejor comparada con el tratamiento actual de la empresa, ya que comparando los costos fijos habría un ahorro de USD 2423.24 y comparando los costos quincenales usando la pectina se ahorraría aproximadamente USD 995.86, mientras que para el quitosano se tendría un ahorro de USD 743.36, aunque estos valores no sean muy significativos para empresas a gran escala. Es necesario recordar que la mayoría de las empresas de curtiembres en Latinoamérica son informales y de pequeña escala, lo cual este ahorro podría ser significativo para ellos. Además, se podría reutilizar estas aguas tratadas reduciendo el consumo de agua y, por lo tanto, los costos por el consumo de estas.

Y, por último, el tratamiento con ambos biopolímeros resultó ser eficiente en los parámetros de aceites y grasas, SST y Cr^{+6} para la descarga hacia el alcantarillado según los VMA de Perú. Para las concentraciones de metales, se puede determinar que con los dos tipos de biopolímeros resultaron ser valores menores a los establecidos en los VMA. No obstante, a pesar de que hubo una disminución considerable en los parámetros de sulfuros, DBO y DQO no alcanzaron los valores permitidos por la VMA. Se recomienda aplicar un tratamiento adicional como oxidación química o tratamiento con ozono para la descarga del agua residual, debido a que esta investigación se realizó solamente con el uso de biopolímeros sin ningún tratamiento previo.

5. Ética y conflicto de intereses

Las personas autoras declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

6. Referencias

- Benitez-Campos, N. (2011). Producción limpia y biorremediación para disminución de la contaminación por cromo en la industria de curtiembre. *Ambiente y Sostenibilidad* (1):25-31
- Campos, M. y Marchán, J. (2021). Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática. 81.
- Cardona Gutiérrez, A., Cabañas Vargas, D. y Zepeda Pedreguera, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II), *Ingeniería*, 1(17), 1-9.
- Castiblanco, Y., y Perilla, A. (2019). *Remoción de cromo hexavalente en aguas residuales proveniente de procesos de cromado de plásticos en empresas de Bogotá*. [Tesis, Universidad Cooperativa de Colombia].
- Castillo, M. y López, J. (2018). *Tratamiento del agua residual industrial de la curtiembre Rolemt, para el cumplimiento de valores máximos admisibles*. [Tesis, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo].
- Cerón, A. (2018). *Estudio comparativo de los efectos físicos causados por agua contaminada con sales de cromo en Lemna Minor y Limnobium Laevigatum*. [Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Chávez, Á. (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41–50.

- Córdova, H., Vargas, R., Téllez, L., Cesare, M., Becker, R., y Visitación, L. (2013). Influencia del uso de acomplejantes en el baño de curtido sobre la calidad final del cuero. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 79(4), 388–397.
- Córdova, H., Vargas, R., Cesare, M., Flores, L., y Visitación, L. (2014). Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplejantes de cromo. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 80(3), 183–191.
- Del Valle, M. (2017). *Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos mediante el uso de biopolímeros en agua turbia del estero salado*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/22573>
- Desbrières, J., y Guibal, E. (2018). Chitosan for wastewater treatment. *Polymer International*, 67(1), 7–14. <https://doi.org/10.1002/pi.5464>
- Duarte, E., Olivero, J., y Jaramillo, B. (2009). Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembre usando quitosan obtenido de desechos de camarón. *Scientia et Technica*, 2(42), 290–295. <https://doi.org/10.22517/23447214.2679>
- Duran, O. y Martínez, L. (2022). Caracterización tecnológica y del talento humano en las empresas del sector de curtiembres del área metropolitana de Cúcuta y su ventaja competitiva. universidad libre seccional Cúcuta. [Tesis, Universidad Libre Seccional Cúcuta]
- Fernández, Y., y Ruiz, C. (2020). Tratamiento de agua residual mediante aplicación de sultafo de aluminio y biopolímero natural de tamarindo (*Tamarindus indica*). *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*. 6 (2) 28-34. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/index ISSN 2410-843x
- Fúquene, D., Yate, A. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *ECAPMA*. 2(1). <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2771>
- García, H. (2021). *Propuesta de una planta de tratamiento de las aguas residuales, para mejorar la recirculación del agua y los tratamientos en cada una de las etapas del proceso de curtido en una empresa curtiembre, en la ciudad de Trujillo*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Piura].
- García, V., Yipmantin, A., Guzmán, E., Pumachagua, R., y Maldonado, H. (2011). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 173-181.
- Gomez, D., Rodríguez, J. P., y Betancourth, J. F. (2018). Pulpa de café para la remoción de Cr (III) en aguas residuales provenientes de curtiembres. In *Memorias del Seminario Nacional de Gestión Ambiental Urbana y Control de la Contaminación (III)*, pp. 56–65). <https://doi.org/10.15332/dt.inv.2020.01674>
- Hala, A., y Ali, J. (2019). Chitosan as a widely used coagulant to reduce turbidity and color of model textile wastewater containing an anionic dye (acid blue). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 584, 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/584/1/012036>
- Hossain, K., Sikder, M., Rahman, M., Uddin, M. y Kurasaki, M. (2017). Investigation of Chromium Removal Efficacy from Tannery Effluent by Synthesized Chitosan from Crab Shell. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(4), 1569–1577. doi:10.1007/s13369-017-2435-0
- Instituto Tecnológico de la Producción (2018). *Evaluación para la sustitución de procesos y/o productos químicos para la producción limpia en la industria de curtiembres*. https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/CCAL_001-2018.pdf
- Laura, V. (2018). *Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río chili conteniendo AS, PB y CR tratados con pectina obtenidos a*

- partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina.* [Tesis posgrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]
- Lim, B., Lim, J., & Ho, Y. (2018). Garden cress mucilage as a potential emerging biopolymer for improving turbidity removal in water treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 119, 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.08.015>
- Martínez, S., y Romero, J. (2018). Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: Un análisis de su competitividad. *Revista de La Facultad de Ciencias Económicas*, 26(1), 113–124. <https://doi.org/10.18359/rfce.2357>
- Méndez-Gómez, E., y Arias-Lizárraga, D. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, V (3), 115–123.
- Molina, D.(2016). *Extracción de pectina de frutos amazónicos mediante un proceso asistido por microondas.* <http://www.bdigital.unal.edu.co/54961/>
- Montenegro, S., Pulido, S. y Calderón, L. (2019). Prácticas de biorremediación en suelos y aguas. *Ecapma*, 1(2), 49.
- Morocho, M. (2017). *Tratamiento de aguas residuales de una curtiembre en el canton cuenca mediante la aplicación dosificada de EMAS (microorganismos eficientes autóctonos).* [Tesis magister, Universidad de Cuenca].
- Najarro, R. (2021). *Proceso de absorción natural con quitosano para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del Río Huaycoloro, Lima 2021.* [Tesis, Universidad César Vallejo]
- Ortiz, N., y Carmona, J. (2015). Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con sulfato de sodio. *Luna Azul*, (40), 117–126. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.9>
- Paredes, M., & Valle, M. (2020). Evaluación de la capacidad de adsorción de la cáscara de limón (citrus limón (l.) burm. f.) para la remoción de cromo (vi) de aguas residuales de la empresa textilera Hualhuas [Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125798%0A>
- Pattanashetti, N., Heggannavar, G., y Kariduraganavar, M. (2017). Smart biopolymers and their biomedical applications. *Procedia Manufacturing*, (12), 263–279. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.08.030>
- Ramírez, J., Martínez, Ó. y Fernández, L. (2013). Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula. *Revista Avances Investigación En Ingeniería*, 10(1), 42–49. http://www.unilibre.edu.co/revistaavances//avances-10-1/Tema_05_carbon_activado_pino.pdf
- Ramirez, V., Bonilla, E., Carvajal, L. y Serrezuela, R. (2018). Removal of chromium in wastewater from tanneries applying bioremediation with algae, orange peels and citrus pectin. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(9), 433–449. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.8235>
- Ramos, H., y Vargas, G. (2020) *Remoción de DQO y SST en el tratamiento de aguas residuales de curtiembre en un reactor UASB: Revisión Sistemática.* [Tesis, Universidad César Vallejo]
- Rodríguez-Jiménez, D., Rodríguez-Díaz, Y., y Burbano-Erazo, E.(2022). Quitosano aplicado en el tratamiento del agua residual de la producción de aceite de palma. *Agronomía Mesoamericana*. 33(1). doi:10.15517/am.v33i1.4428
- Rosas, Y. (2019). Caracterización y remoción de cromo (III) de aguas residuales de curtiembres del parque industrial de Rio Seco utilizando hueso de olivo (*Olea Europea*) procesado como biosorbente. [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]

- Rendulich, J. (2019). *Diseño de un modelo de gestión de producción para pequeñas curtiembres basado en buenas prácticas de manufactura y un sistema de información de dosificación e impacto de insumos de curtido – caso: curtiembre Fernando Quispe*. [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]
- Rodríguez, M. (2011). *Adsorción de metales pesados mediante biocompositos con base en quitina de diferentes grados de acetilación*. [Tesis de posgrado, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.]
- Sahana, T., y Rekha, P. (2018). Biopolymers: Applications in wound healing and skin tissue engineering. *Molecular Biology Reports*, 45(6), 2857–2867. <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4296-3>
- Salas, G. (2005). Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 8(1), 49–54.
- Sánchez, D., García, V., Yipmantin, A., Guzmán, E., Ale, N., y Maldonado, H. (2014). Estudio de la cinética de biosorción de iones cadmio (II) en pectina reticulada proveniente de cáscaras de naranja. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(4), 298-307.
- Semarnat. (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde*. México.
- Silva, M. y Salinas, D. (2022). La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Revista Científica UISRAEL*, 9(1), 69–80. <https://doi.org/10.35290/rcui.v9n1.2022.427>
- Sotomayor, R. (2006). Tratamiento de los efluentes de la industria del cuero en la ciudad de Arequipa. *Ciencia y Desarrollo*, 7, 31. <https://doi.org/10.21503/cyd.v7i0.1192>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á. y Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Valero, M., Ortégón, Y., y Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y perspectivas. *DYNA*, 80(181), 171–180.
- Vergara, M. del B. de. (2015). Cloración Frente a Ozonización En El Tratamiento De Agua Potable. Ventajas Y Desventajas De Ambos Procesos [Tesis, Universidad Complutense]. In Facultad De Farmacia.
- Vejarano, R., y Príncipe, D. (2021). *Influencia de dosificación de quitosano y tiempo en la remoción de sólidos suspendidos totales y turbidez en aguas residuales municipales*. [Tesis, Universidad Nacional de Trujillo]
- Zeballos, J. (2014). *Determinación de parámetros fisicoquímicos en efluentes industriales de curtiembres de la asociación de pequeñas y medianas empresas de curtiembres, fábricas de cola y derivados del cuero (APYMECO) - Parque industrial de Río Seco (PIRS), Cerro Colorado-Arequipa*. [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/454>
- Zhao, C. y Chen, W. (2019). A review for tannery wastewater treatment: some thoughts under stricter discharge requirements. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(25), 26102–26111. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05699-6>

7. Anexos

Revista de
CIENCIAS AMBIENTALES
 Tropical Journal of Environmental Sciences



Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)
 e-ISSN: 2215-3896
 (Julio-Diciembre, 2023) . Vol 57(2): 1-25
 DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.57-2.2>
 Open Access: www.revistas.una.ac.cr/ambientales
 e-mail: revista.ambientales@una.ac.cr
 Basurto-Flores N., Medina-Guerrero N.

Evaluación técnico-económica del uso de biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres

Technical-economic evaluation of the use of biopolymers for the treatment of tannery wastewater

Nickole Basurto-Flores¹, Nataly Medina-Guerrero²

[Recibido: 16 de agosto 2022, Aceptado: 22 de noviembre 2022, Corregido: 10 de enero 2023, Publicado: 22 de marzo 2023]

Resumen

[Introducción]: Durante años, las aguas residuales de curtiembres han sido vertidas a diversas fuentes de aguas sin control alguno o con tecnologías poco eficientes, lo que genera un impacto en la calidad del agua. **[Objetivo]:** El objetivo del estudio fue evaluar la viabilidad técnico-económica del uso del biopolímero pectina y quitosano para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres. **[Metodología]:** Se efectuó la extracción de pectina a partir de la cocona y el quitosano a partir de camarón. Se realizó una prueba de jarras donde se combinó el agua residual y los biopolímeros, la velocidad de agitación fue de 120 rpm y el tiempo de contacto de 1, 2 y 3 h. Se realizaron análisis de pH, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST) y Cr⁶⁺ de las muestras obtenidas. Para la comparación con Valores Máximos Admisibles (VMA), se utilizaron las muestras que mostraron mayor remoción de SST y Cr⁶⁺. Para el análisis estadístico de los diferentes tiempos y concentraciones se realizó una prueba ANOVA y de comparación múltiple, para el cotejo de eficiencias entre pectina y quitosano se realizó 1 prueba T de student. **[Resultados]:** En la cantidad de 1 g tanto de quitosano como de pectina se registró una remoción del Cr⁶⁺ de 98.33 % y 98.30 % respectivamente, ambos con un tiempo de 1 h. En los sólidos suspendidos totales hubo una reducción del 98 % con 1 h de mezcla para la pectina y 96 % con 3 h de mezcla usando el quitosano. La eficiencia de remoción entre quitosano y pectina no mostraron una diferencia significativa. En la parte económica existe un ahorro de 846.85 USD, mientras que para el quitosano se tendría un ahorro de 807.61 USD. La concentración de parámetros de sólido sedimentable y aceites y grasas se encontró dentro de los VMA. Sin embargo, para sulfuros, DBO y DQO no se cumplió. **[Conclusiones]:** Con el uso de biopolímeros se logró una considerable disminución del Cr⁶⁺ y de los SST, además de que ambos resultaron ser muy eficientes. También es una tecnología más rentable económicamente, en comparación con la tecnología empleada por la curtiembre estudiada. Sin embargo, para poder alcanzar los requerimientos de los VMA se deben utilizar algunas tecnologías adicionales.

Palabras clave: Curtiembres; pectina; quitosano; remoción de contaminantes

Abstract

[Introduction]: For years, wastewater from tanneries has been discharged into various water sources without any control or with inefficient technologies, generating an impact on water quality. **[Objective]:** To evaluate the technical-economic feasibility of the use of the biopolymer pectin and chitosan for the treatment of tannery wastewater.

¹ Ingeniera ambiental, egresada de la Universidad Científica del Sur, Perú. nickoleallyson@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4502-3823>
² Ingeniera ambiental, egresada de la Universidad Científica del Sur, Perú. natalyvmg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9586-7851>



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 032-2021-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 25 de enero del 2021

VISTO:

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Evaluación técnico-económica del uso de biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres**, presentado por:

- **Basurto Flores Nickole Allyson del Carmen y Medina Guerrero, Nataly Vanessa**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

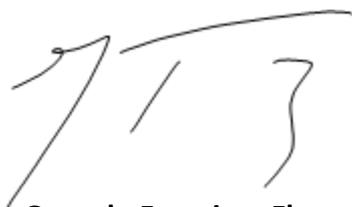
Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Evaluación técnico-económica del uso de biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres** con N° de registro: **026-2020-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Betty Peña Orocaja** como asesor(a) para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental